



POTENCIAL DA CINZA DA FOLHA DE BAMBU APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

Silva, H. D. A.^{1*}; Fernandes, E. F. S.²; Silva, H. J. B.³; Santos, V.B.²; Matos, J. M. E.¹

¹Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Teresina, PI, Brasil.

²Departamento de Engenharia de Materiais
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Teresina, PI, Brasil.

³Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife, PE, Brasil.

*hdas0912@hotmail.com

RESUMO

O cultivo intensivo de bambu e seu uso industrial geram impactos ambientais. Paralelamente, a construção civil busca alternativas sustentáveis ao cimento. Este estudo investigou o uso de cinzas de folha de bambu (CFB) como substituto parcial do cimento em tijolos ecológicos. As CFB foram produzidas a 600 °C/2 h e caracterizadas por atividade pozolânica, além de serem analisadas junto com solo e cimento por Fluorescência de Raios-X e Difractometria de Raios-X. Os tijolos ecológicos seguiram a proporção de 1:8 (solo:cimento) conforme a norma brasileira vigente, com substituições de 0%, 10% e 15% de CFB. Após 7 dias de cura, foram analisados quanto à absorção de água e resistência à compressão. A CFB mostrou alta pozolanicidade, composta principalmente por sílica amorfa. Todas as amostras atenderam às normas brasileiras, sendo os tijolos com 15% de CFB com os melhores resultados. Estes resultados contribuem para uma alternativa sustentável para reduzir o consumo de cimento.

Palavras-chave: Cinza da Folha de Bambu, Tijolo ecológico, Cimento, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O bambu é uma planta de rápido crescimento, com vida útil superior a 75 anos, atingindo maturidade em 3 a 6 anos, sendo perene, renovável e de baixo custo (1,2). Essas características, aliadas à capacidade de remoção de dióxido de carbono (CO₂), promovem seu uso global e contribuem para o desenvolvimento sustentável (2,3). Com potencial para aplicações industriais inovadoras na construção, energia e áreas

afins (4), o bambu impacta significativamente o desenvolvimento econômico de muitos países (5). Contudo, as indústrias e plantações de bambu geram grandes volumes de resíduos de folhas (6,7). Uma alternativa para esses resíduos é seu uso como material cimentício complementar, requerendo calcinação controlada para ativar suas propriedades pozolânicas (8).

A indústria da construção, importante para o crescimento econômico, contribui com cerca de 30% das emissões de CO₂ globais (9), com a indústria cimenteira representando aproximadamente 8% do total (10). Além disso, demanda altos volumes de recursos naturais não renováveis e energia (11). Em 2023, a produção mundial de cimento foi de cerca de 4,1 bilhões de toneladas (12). Estudos indicam que a cinza de folhas de bambu (CFB) tem potencial como substituto parcial do cimento Portland em matrizes cimentícias (7,13). No entanto, não há pesquisas sobre o uso de CFB em tijolos solo-cimento (tijolos ecológicos) nas bases de dados *Web of Science*, *Scielo*, *Science Direct* e *Scopus*.

Os tijolos ecológicos são feitos de solo, água e cimento Portland, que fornece resistência e durabilidade. Produzidos por prensagem e sem necessidade de queima, destacam-se pela sustentabilidade, utilizando menos de 10% da energia necessária para produzir tijolos de argila queimada (14,15).

Sob essa ótica, o presente trabalho teve por objetivo verificar as naturezas químicas, mineralógicas e físicas da CFB, bem como estudar a viabilidade de sua incorporação à composição da mistura solo-cimento em substituição parcial do material cimentício empregado na fabricação de tijolos ecológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, os materiais utilizados foram solo, CFB e cimento Portland. O solo foi extraído de uma jazida localizada no estado do Maranhão. As CFB foram obtidas a partir da coleta das folhas de bambu no estado do Piauí, calcinadas à 600 °C/2 h, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. Posteriormente, foram maceradas em peneira de malha nº 500 (0,025mm), obedecendo desta forma a NBR 12653 (15). As cinzas foram caracterizadas, por sua atividade pozolânica definida pelo método de Lúxan (16). Além desta caracterização, todos os materiais foram caracterizados mineralógicamente por difração de raios X (DRX) e quimicamente por Fluorescência de raios X (FRX). A identificação das fases mineralógicas presentes nos materiais

(solo, CFB e Cimento) foi obtida a partir do banco de dados ICDD (*International Center for Diffraction Data*), com auxílio do *software X'Pert HighScore*.

A proporção adotada para produção dos corpos de provas (CP) do tijolo ecológico foi de 1:8 (cimento: solo), de acordo com NBR 8491 (17) e com a Portland Cement Association (18). Assim, foram preparadas 3 formulações alterando-se somente a porcentagem de cimento, o qual foi então substituído em 10% (CP10) e 15% (CP15) pelas CFB. A amostra padrão (sem substituição de cimento por CFB) foi denominada de CP0. Para todas as formulações manteve-se constante a proporção de solo (89,89%).

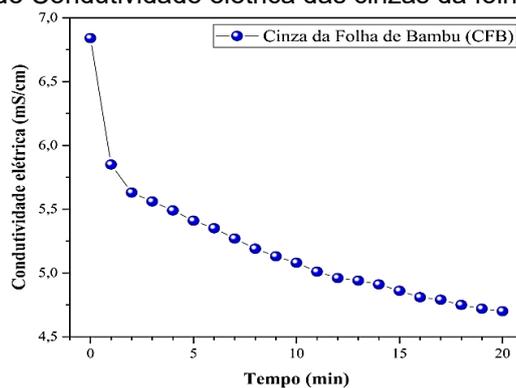
Para a produção dos CP, solo, cimento e cinzas foram misturados homogeneamente com uma espátula. Em seguida, adicionou-se 10% de água em relação ao peso da mistura e homogenizou-se manualmente a massa úmida. Os CP foram conformados por prensagem uniaxial, colocados em bandejas e umidificados com água no dia seguinte, sendo curados por 7 dias por aspersão manual. As propriedades tecnológicas dos tijolos, como resistência à compressão e absorção de água aos 7 dias de cura, foram determinadas conforme a NBR 8492 (19).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividade Pozolânica das CFB

A Fig. 1 mostra a condutividade elétrica das CFB pelo método de Lúxan (16), revelando um decréscimo em 20 minutos, atribuído à produção de produtos insolúveis e à diminuição da concentração de hidróxido de cálcio na solução (20). A variação da condutividade até 2 minutos indica que a pozolana está reagindo com CaO, mostrando alta reatividade (20). Assim, a CFB foi classificada como material de alta pozolanicidade, conforme a classificação de Lúxan (16), pois a diminuição da condutividade no segundo minuto foi superior a 1,2 mS/cm.

Figura 1: Ensaio de Condutividade elétrica das cinzas da folha de bambu (CFB).



Fonte: Próprio autor.

Análise química e mineralógica dos materiais

As porcentagens de cada elemento químico para o solo, CFB e cimento são apresentadas na Tabela I. O solo é composto predominantemente por dióxido de silício (SiO_2), alcançando 74,98% da composição do material, logo em seguida aparece o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3) com 19,39% e 3,82%, respectivamente.

Para a CFB, os principais óxidos presentes em sua composição foram SiO_2 com 82,56% e o CaO , representando 5,97%. Os demais componentes apresentaram porcentagem inferior a 4%. O somatório das porcentagens de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 é de 83,279%, sendo este valor superior aos 70% requisitados pela NBR 12653 (16), a qual classifica o material como pozolânico. A ausência de Al_2O_3 pode ser o resultado da metodologia de queima, espécie de bambu, idade, solo e clima (21). No que tange a porcentagem de trióxido de enxofre (SO_3) presente na CFB, o resultado obtido foi de 2,42%, também cumprindo com as exigências pedidas pela norma brasileira (21).

Tabela I - Composição química (% em massa) do solo, cinza da folha de bambu (CFB) e cimento determinado por FRX.

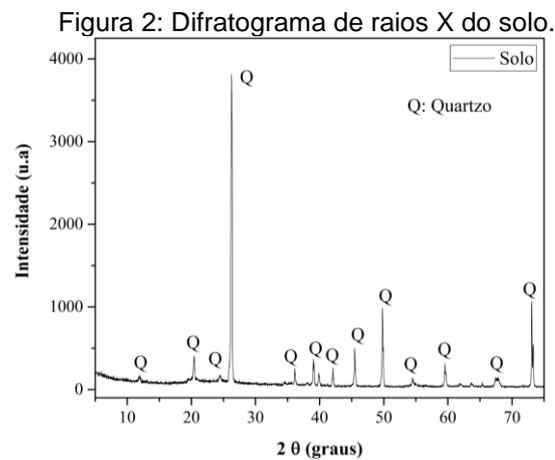
Materiais	Composição (%)											
	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	ZrO_2	MgO	P_2O_5	SO_3	Cl	MnO
Solo	19,39	74,98	0,29	0,19	1,15	3,82	0,12	-	-	-	-	-
CFB	-	82,56	3,88	5,97	0,11	0,72	-	3,26	0,78	2,42	0,17	-
Cimento	-	3,45	13,81	0,46	71,06	0,31	-	2,5	-	3,06	-	0,19

Fonte: Próprio autor.

Em relação à composição química do cimento *Portland* V-ARI é percebido que esse material é formado em sua maior parte por óxido de cálcio (CaO), cerca de 71%,

e também por SiO_2 , com 13,81%, atendendo aos requisitos especificados pela NBR 16697 (22). Os resultados obtidos por FRX para os três materiais apresentam similaridades com o encontrado por outros autores (23, 24)

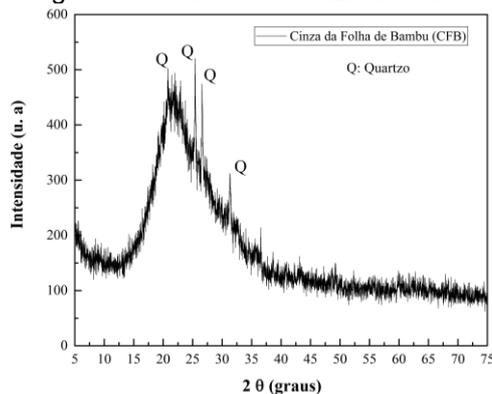
É possível verificar, no difratograma de raios X, que as fases do solo (Fig. 2) são dominadas por minerais de quartzo (SiO_2) também observadas por Nejad (25). Esse resultado corrobora os dados da análise química que mostra que mais de 74% do material é formado por SiO_2 e quase 20% por Al_2O_3 . O quartzo no solo possibilita ao tijolo solo-cimento sua estabilização dimensional (26).



Fonte: Próprio autor.

Já a CFB (Fig. 3) apresentou uma natureza amorfa, sendo observado uma banda larga entre 15° e 40° em 2θ , comportamento semelhante à de CFB produzidas por outros autores (7, 21). Apesar de sua natureza ser amorfa, a CFB apresentou alguns picos cristalinos de quartzo em $2\theta = 25,49^\circ$, $26,72^\circ$, $31,19^\circ$ e $36,74^\circ$. A presença de quartzo pode ser explicada pelo contato das folhas com o solo, no momento da coleta (7).

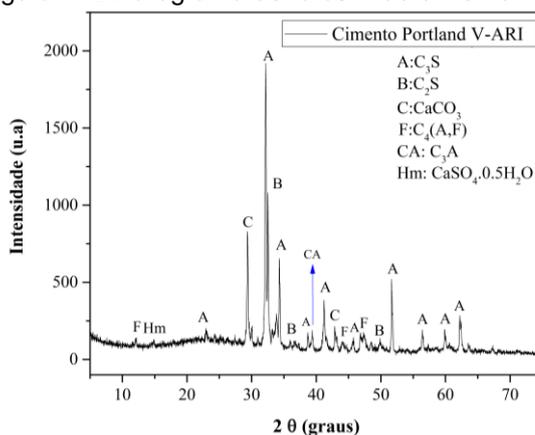
Figura 3: Difratoograma de raios X da cinza da folha de bambu (CFB).



Fonte: Próprio autor.

A Fig. 4 apresenta a análise mineralógica do cimento *Portland V-ARI*. Percebe-se a complexidade e grande quantidade de fases presentes no cimento. A alita (C_3S) aparece como sendo a principal fase mineral do material, exibindo picos em $2\theta = 22,79^\circ, 32,13^\circ, 34,30^\circ, 38,77^\circ, 41,34^\circ, 45,68^\circ, 51,63^\circ, 56,37^\circ, 59,75^\circ$ e $62,24^\circ$, resultado similar a outra pesquisa (20). Além disso, é possível observar que fases de belita (C_2S), calcita ($CaCO_3$), ferrita (C_4A,F), aluminato (C_3A) e bassanita ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) também estão presentes. A presença dos silicatos de cálcio, alita, belita e além do aluminato, no cimento *Portland V-ARI*, proporcionam a resistência no primeiro dia de cura (27).

Figura 4: Difratoograma de raios X do cimento Portland.



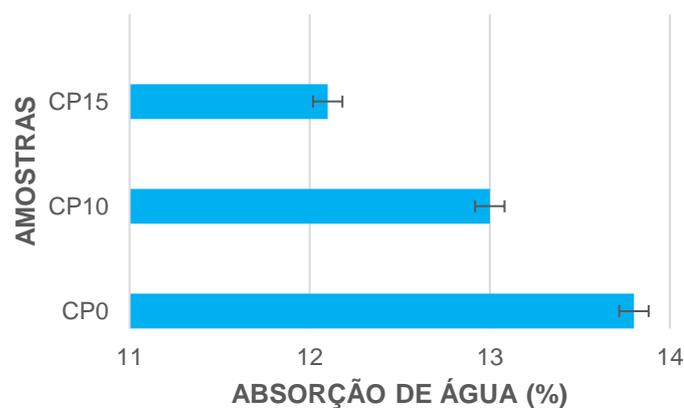
Fonte: Próprio autor.

Propriedades tecnológicas dos tijolos ecológicos

A Fig. 5 exhibe os valores de absorção de água para tijolos ecológicos com diferentes quantidades de CFB, aos 7 dias. Deve-se notar que a porcentagem de CFB

teve um efeito relevante na absorção de água dos tijolos, visto que esta propriedade reduziu à medida que a quantidade de CFB nos tijolos aumentou. Logo, dentre as amostras, CP15 (15% de CFB) apresentou o menor valor de absorção com 12,1% aos 7 dias de cura. Neste mesmo período de cura a amostra CP0, aquela sem porcentual de cinzas (0%), obteve resultado igual a 13,8%, enquanto que a amostra CP0 (10%), resultou em uma absorção de 13%. Desta forma, todos os valores médios de absorção de água avaliados foram inferiores ao máximo sugerido pela norma NBR 8492 (19) de 20%.

Figura 5: Absorção de água para tijolos ecológicos.

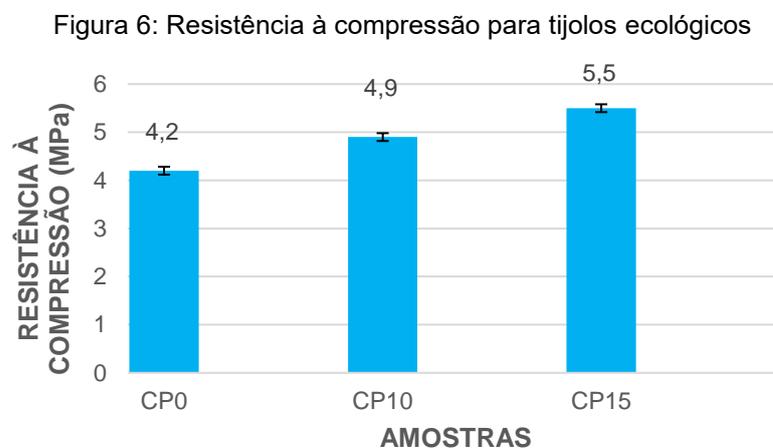


Fonte: Próprio autor.

A pesquisa realizada por Rocha (28) com substituição do material cimentício por resíduos de mineração em tijolos ecológicos também obteve redução do índice de absorção de água com o aumento da porcentagem do resíduo. O fenômeno de diminuição da absorção de água por parte dos tijolos pode ser consequência da diminuição da porosidade na matriz, causada pelo processo de cura, momento em que ocorrem as reações de hidratação do cimento e consequente minimização do número de poros para receber água (29, 30).

Portanto, a substituição do cimento por CFB contribuiu para aumentar o empacotamento das partículas (solo, cimento e CFB) fazendo com que se tenham menos vazios e, conseqüentemente, menos inserção de água (31). Esse resultado está associado com a distribuição granulométrica (partículas $\geq 25\mu\text{m}$) da CFB que age como um elemento de preenchimento causando a redução de grande parte de poros capilares. Além disso, as propriedades pozolânicas promovem ligações químicas com cimento gerando uma matriz mais densa (29).

A Fig. 6 mostra o resultado da resistência à compressão para as amostras de tijolos ecológicos. É percebido que as resistências aumentam com a adição do aditivo. A maior resistência à compressão, 5,5 MPa foi obtida na substituição de 15% (CP15) de CFB, valores estes quase 3 vezes maiores, que o valor (2 MPa) exigido pela NBR 10834 (32), sendo este, portanto o melhor resultado. Também é possível verificar que as outras amostras também superaram o valor prescrito pela norma. Sob a óptica da sustentabilidade é desejável que a maior porcentagem possível de cimento seja substituída sob a condição de que a resistência do material elaborado seja mantida (33).



Fonte: Próprio autor.

Os resultados apresentados pelas amostras com CFB se devem ao preenchimento de poros realizados pelas cinzas, já que esse material possui um alto grau de finura, realizando o preenchimento dos vazios (34). Outro fator que pode ter influenciado nos resultados é a formação de compostos hidratados, como o CSH, durante a reação de hidratação do cimento e a reação pozolânica (13).

A reação entre a sílica ou aluminossílica e o hidróxido de cálcio forma o silicato de cálcio hidratado (C–S–H) adicional, realizando assim o preenchimento dos poros capilares. O processo de densificação da matriz provoca o aumento das propriedades mecânicas do material (35). Esses resultados encontram-se alinhados com os índices de absorção de água dos tijolos.

Os resultados mostram que as CFB não beneficiam somente o comportamento mecânico, mas também o meio ambiente, tornando o uso de CFB em tijolo ecológico uma alternativa altamente sustentável, uma vez que a substituição de até 20% de

cimento Portland gera uma economia significativa de cimento Portland, implicando na redução de impactos ambientais.

CONCLUSÃO

O presente estudo investigou a substituição parcial de cimento por cinza de folha de bambu (CFB) em tijolos ecológicos, constatando que a CFB, rica em sílica amorfa, pode substituir o cimento Portland. A substituição resultou em aumento da resistência mecânica e redução da absorção de água para todas as amostras, atendendo aos padrões da norma brasileira vigente, e com CP15 apresentando os melhores resultados. Assim, o uso de CFB como substituto do cimento demonstrou ser viável, proporcionando tijolos com boas propriedades físicas e mecânicas sem a necessidade de queima, bem como contribuindo para a sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. OKOKPUJIEA, I. P. AKINLABI, E.T. FAYOMI, O.O. Assessing the policy issues relating to the use of bamboo in the construction industry in Nigeria Elsevier Enhanced Reader. Heliyon, vol. 6, n. 5, p. E04042, 2020.
2. LI, Z., CHEN, C., MI, R., GAN, W., DAI, J., JIAO, M., XIE, H., YAO, Y., XIAO, S., & HU, L. Um material estrutural forte, resistente e escalável de bambu de rápido crescimento. Materiais Avançados, Vol. 32. 2020.
3. ASHA, P. SALMAN, A. KUMAR, R.A. Experimental study on concrete with bamboo leaf ash. Int. J. Eng. Adv. Technol. Vol. 3, p. 2249-8958, 2014.
4. BOROWSKI, P., PATUK, I. E BANDALA, E. Uso industrial inovador do bambu como material “verde” chave. Sustentabilidade, 2022.
5. OKOKPUJIEA, I. P. AKINLABI, E.T. FAYOMI, O.O. Assessing the policy issues relating to the use of bamboo in the construction industry in Nigeria. Elsevier Enhanced Reader. Heliyon, vol. 6, n. 5, p. E04042, 2020.
6. KOLAWOLE, J. T. OLUSOLA, K. O. BABAFEMI, A. J. OLALUSI, O. B. Blended cement binders containing bamboo leaf ash and ground clay brick waste for sustainable concrete. Materialia. Vol. 15, p. 101045 2021.

7. MORAES, M.J.B. MORAES, J.C.B. TASHIMA, M.M. A. SORIANO, J.L. BORRACHERO, L. PAYÁ, M.V. Production of bamboo leaf ash by autocombustion for pozzolanic and sustainable use in cementitious matrices. *Construction and Building Materials*. Vol. 208, p. 369-380, 2019.
8. SILVA, A. B. MACIEL, J. C. S. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Revista Igapó*. Vol. 01, p 109-114, 2009.
9. AROOZ, R.F. HALWATURA, R.U. Mud-concrete block (MCB): mix design & durability characteristics. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 8, p. 39 -50. 2018.
10. ANDREW, R. M. Global CO2 emissions from cement production, 1928– 2018. *Earth Syst. Sci. Data*. Vol. 11, p. 1675–1710, 2019.
11. KARIYAWASAM, K.K.G.K.D. JAYASINGHE, C. Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material. *Construction and Building Materials*. Vol. 105, p. 519 – 527, 2016.
12. GARSIDE, M. Global lead industry - statistics & facts. Statista. 2020. Disponível em: <https://www.statista.com/topics/5177/lead/#topicOverview>. Acesso em 05 jun. 2024.
13. RODIER, L. VILLAR-COCIÑA, E. BALLESTEROS, J.M. JUNIOR, H.S. Potential use of sugarcane bagasse and bamboo leaf ashes for elaboration of green cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 231, p. 54-63, 2019.
14. VILELA, A. P. EUGÊNIO, T. M. C. OLIVEIRA, F. F. MENDES, J. F. RIBEIRO, A. G. C. VAZ, L. E. V. S. B. MENDES, R. F. Technological properties of soilcement bricks produced with iron ore mining waste. *Construction and Building Materials*. Vol. 262, p. 120883, 2020.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
16. LUXÁN, M.P. MADRUGA, F. SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete Research*. Vol. 19, n. 1, p. 63- 68, 1989.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
18. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). *Soil-cement Information*. Washington, 2003.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento: Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
20. MORALES, E. V. VILLAR-COCIÑA, E. FRÍAS, M. SANTOS, S. F. SAVASTANO, H. Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation. *Cement & Concrete Composites*. Vol. 31, n. 1, p. 22-28, 2009.
21. FRÍAS, M. SAVASTANO, H. VILLAR, E. ROJAS, M.I.S. SANTOS. S. Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. *Cement & Concrete Composites*. Vol. 34, p. 1019-1023, 2012.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
23. BERENQUER, R. A. CAPRARO, A. P. B. MEDEIROS, M. H. F. CARNEIRO, A. M. P. OLIVEIRA, R. A. Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 8, n. 2, p. 103655, 2020.
24. AGOSTINHO, L. B. ALEXANDRE, C. P. DA SILVA, E. F. TOLEDO F. R. D. Rheological study of Portland cement pastes modified with superabsorbent polymer and nanosilica. *Journal of Building Engineering*. Vol. 34, p. 102024, 2021.
25. DERAKHSHAN-NEJAD Z. LEE. W. HAN. S. CHOI. J. YUN. S. LEE. G. Effects of soil moisture content on CO₂ triggered soil physicochemical properties in a near-surface environment. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 20, n. 4, p. 2107-2120, 2020.
26. REGO, R. R. C. Estudo do tijolo solo cimento em formulações com a adição da cal. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais), IFPI, 2019.
27. BARBOSA W. PORTELLA K. F. Synthesis and characterization of mineral phases C₃S, C₂S, C₃A and C₄AF for use in Portland cement. *Cerâmica*. Vol. 65, p. 373, 2019.
28. ROCHA J. H. A. ROSAS M. H. CHILENO N. G. C. TAPIA G. S. C. Physical-mechanical assessment for soil-cement blocks including rice husk ash. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 14, p. e00548, 2021.
29. SEKHAR D. NAYAK S. Utilization of Granulated Blast Furnace Slag and Cement in the Manufacture of Compressed Stabilized Earth Blocks. *Construction and Building Materials*. Vol. 166, p. 531–536, 2018.

- 30.XU F. WANG S.L. LI T. LIU B. LI B.B. ZHOU Y. The mechanical properties of tailing recycled aggregate concrete and its resistance to the coupled deterioration of sulfate attack and wetting-drying cycles. Structures. Vol. 27, p. 2208-2216, 2020.
- 31.SIQUEIRA, F. B. HOLANDA J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. Journal of Environmental Managemet. Vol. 31, p. 1-6, 2013.
- 32.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- 33.CHEN J.J. LI B. H NG P. L KWAN A.K.H. Adding granite polishing waste to reduce sand and cement contents and improve performance of mortar. Journal of cleaner production. Vol. 279, p. 123653, 2021.
- 34.CHUSILP N. JATURAPITAKKUL C. KIATTIKOMOL K. Eff ects of LOI of Ground Bagasse Ash on the Compressive Strength and Sulfate Resistance of Mortars. Construction and Building Materials. Vol. 23, n. 12, p. 323-353, 2009.
- 35.TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. London: Thomas Telford, 1997.

POTENTIAL OF BAMBOO LEAF ASH APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL BRICKS

ABSTRACT

The intensive cultivation of bamboo and its industrial use generate environmental impacts. At the same time, construction is looking for sustainable alternatives to cement. This study investigated the use of bamboo leaf ash (BLA) as a partial replacement for cement in eco-bricks. The BLA were produced at 600 °C/2 h and characterized by pozzolanic activity, in addition to being analyzed together with soil and cement by X-ray Fluorescence and X-ray Diffraction. The ecological bricks followed the ratio of 1:8 (soil:cement) in accordance with current Brazilian standards, with replacements of 0%, 10% and 15% of BLA. After 7 days of curing, they were analyzed for water absorption and compressive strength. BLA showed high pozzolanicity, mainly composed of amorphous silica. All samples met Brazilian standards, with bricks with 15% BLA having the best results. These results contribute to a sustainable alternative to reduce cement consumption.

Keywords: Bamboo Leaf Ash, Ecologic brick, Cement, Sustainability.